

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Antun Stepić**

**Split, 2015**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Proračun krovne konstrukcije za industrijsku  
halu**

**Završni rad**

**Split, 2015**

***Sažetak:***

Dimenzioniranje trapezaste grede za industrijsku halu, dokaz vatrootpornosti te priloženi nacrti plana pozicija glavnog nosača i detalja.

***Ključne riječi:***

Trapezasta greda, glavni nosač, vatrootpornost, sendvič paneli, dokaz nosivosti, dokaz uporabljivosti

## **Calculation of the roof structure for an industrial hall**

***Abstract:***

Trapezoidal beams, proof of fire resistance and the attached draft of plan positions of the main carrier and details.

***Keywords:***

trapezoidal beams, main carrier, sizing, fire resistance, sandwich panels, proof load, proof of usability

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: ANTUN STEPIĆ

BROJ INDEKSA: 4158

KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**

PREDMET: Osnova drevnih konstrukcija

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu

Opis zadatka:

- ✘ Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu
- ✘ Predmetna građevina se nalazi na području Splita, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta IV
- ✘ Visina građevine iznosi 10,00 m
- ✘ Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase GL28c
- ✘ Konstruktivni sustav je trapezastii lijepljeni lamelirani nosač promijenljivog poprečnog presjeka
- ✘ Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom  $\alpha = 3^\circ$
- ✘ Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku  $l = 7,50$  m
- ✘ Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 75,00 m
- ✘ Tlocrtna površina hale iznosi 24,00 x 75,00 m
- ✘ Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinara C24, dimenzije b/h = 317/2880 mm raspona  $l = 15,0$  m.

U Splitu, 16.rujan.2015

Voditelj Završnog rada:

V.pred. Đuro Nižetić, dipl.ing. građ.

# **1. Tehnički opis**

## **1.1 Konstruktivni sustav krova**

Konstruktivni sustav je trapezasta greda raspona  $L = 24,00$  m. Visina nosača u tjemenu iznosi

$h = 1.60$  m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom

$\alpha = 3^\circ$ . Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku

$l = 7,50$  m. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi  $75,0$  m.

## **1.2 Statička analiza sustava**

Proračun je izvršen prema EC 5.

Konstrukcija je izložena djelovanju sljedećih opterećenja: vlastita težina, vjetar i snijeg.

Predmetna građevina se nalazi na području Splita, do  $100$  m nadmorske visine, kategorija zemljišta IV .

Odgovarajući koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su prema tome iz propisanih tablica.

Za statički proračun upotrijebljena je kombinacija s najvećim utjecajem, dakle vlastita težina konstrukcije + djelovanje snijega i vlastita težina konstrukcije + djelovanje vjetra.

Izvršena je analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga. Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija konstrukcije.

## **1.3 Opis konstruktivnih elemenata**

### **1.3.1 Glavni nosači**

Glavni nosači predstavljaju nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Dimenzionirani su da prime utjecaj od vlastite težine i opterećenja od snijega i vjetra. Oni su pravokutnog poprečnog presjeka.

### **1.3.2 Podrožnice**

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikala vjetrovnog sprega, kvadratnog su poprečnog presjeka dimenzija  $14$  cm x  $22$  cm i nalaze se na razmaku  $2,01$  m. DIN 1052:2004-08

### 1.3.3. Sendvič panel

Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinaru C24, dimenzije  $b/h = 317/2880$  mm dužine  $l = 15,0$  m.

## 1.4 Materijali

### 1.4.1 Drveni materijali

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase GL28c . Karakteristične vrijednosti čvrstoća, modula i gustoće za ovu klasu:

$$f_{m,k} = 28,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,\text{mean}} = 12600 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{mean}} = 780 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = 410 \text{ kg/m}^3$$

## 1.5 Zaštita i priprema za transport

Zaštita nosivih elemenata se vrši fungicidnim premazima za zaštitu od prodora vode i nametnika. Zaštita se nanosi u tri sloja, s tim da se dva sloja nanose u tvornici prije transporta, a treći, završni sloj nanosi se nakon definitivne montaže. Nosači se nakon ove operacije pakiraju u PVC da bi se zaštitili od vlage u narednim fazama, a ako se radi o težim transportima mogu se zaštititi i od mehaničkih oštećenja.

### 1.5.2 Zaštita metalnih elemenata

## 1.6. Transport i montaža

Planom transporta prikazuje se i opisuje način transporta te dokazuje mehanička otpornost i stabilnost kod kritičnih operacija i specifičnih načina oslanjanja ili položaja LLN. Transportni putovi moraju biti utvrđeni, pri čemu se mora voditi računa o radijusima krivina prema zahtjevima specijalnih vozila i slobodnim profilima.

Montaža se mora provesti prema planu montaže.

Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno s transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Plan montaže ovjerava projektant konstrukcije.

Međustanja konstrukcije u fazi montaže potrebno je provjeriti vodeći računa o mjestima i načinima hvatanja/oslanjanja u fazama podizanja i montaže. Mjesta hvatanja potrebno je osigurati od oštećenja.

Glavni nosači se izrađuju na podu, zatim se pomoću dizalice podižu u vertikalni položaj.

Posebnu pažnju treba posvetiti osiguranju stabilnosti u fazama i elementima koji kod montaže imaju naprezanja suprotna od očekivanih u eksploataciji. Konačno na već postavljenu konstrukciju postavlja se pokrov.

Nosači se trebaju transportirati u takvom položaju u kakvom će kasnije primiti opterećenje.

Transport i montažu treba obaviti tako da se izbjegnu moguća oštećenja dijelova konstrukcije.

.

## 2. Analiza opterećenja

### 2.1. Stalno opterećenje

Vlastita težina - Paneli

*Stalno opterećenje*

*Folija* 0,03

*OSB/3 22 mm* 0,14

*Rebra* 0,15

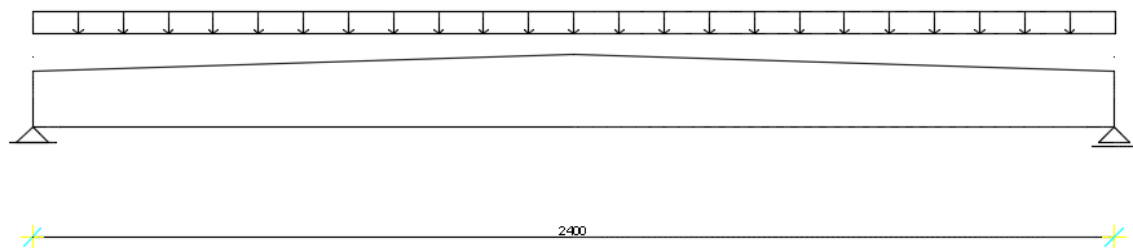
*Izolacija* 0,08

*OSB/3 15 mm* 0,10

$$g_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Instalacije:  $g = 0,50 \text{ kN/m}^2$

$$G_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 * 7,50 \text{ m} = 3,75 \text{ kN/m'}$$





## 2.2. Promjenjivo opterećenje

### 2.2.1. Djelovanje snijega

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_i \cdot s_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$s_k \rightarrow$  karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u  $\text{kN/m}^2$

$s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$  Split, do 100 m nadmorske visine

#### DJELOVANJE SNIJEGA

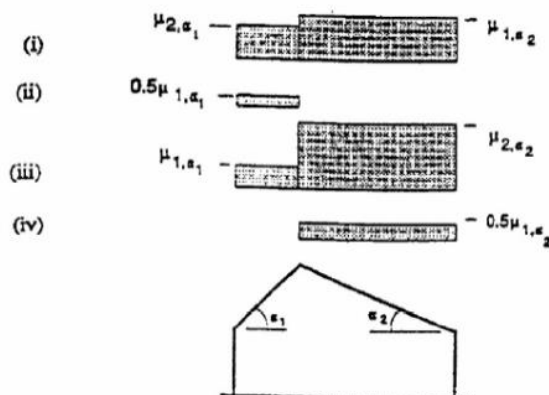


Slika 1. Karta područja za opterećenje snijegom

$\mu_i \rightarrow$  koeficijent oblika za opterećenje snijegom, očitano ga ovisno o obliku i nagibu krova

## DJELOVANJE SNIJEGA

Rasporedi opterećenja snijegom u ovisnosti o koeficijentu oblika  $\mu_i$  za dvostrešne krovove prikazani su sljedećim slikama:



**Napomena:** Uzima se u obzir najnepovoljniji razmještaj opterećenja

Vrijednosti pojedinih koeficijenata oblika  $\mu_i$  u ovisnosti o nagibu krova prikazane su na sljedećoj tablici:

Kut nagiba krova	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
koeficijent oblika $\mu_1$	0,8	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
koeficijent oblika $\mu_2$	0,8	$0,8 + 0,6 (\alpha - 15) / 30$	$1,1 (60 - \alpha) / 30$	0,0

Slika 2. Tablica koeficijenata oblika za dvostrešne krovove

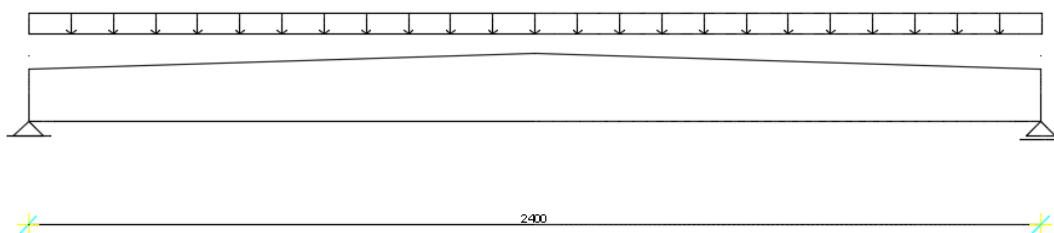
$$\mu_i = 0,8 \text{ za } 0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$$

$$c_e = 1,0 \rightarrow \text{koeficijent izloženosti}$$

$$c_t = 1,0 \rightarrow \text{toplinski koeficijent}$$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne ploče:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 0,36 \text{ kN/m}^2$$



### 2.2.2. Djelovanje vjetra

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \text{ (kN/m}^2\text{)} \rightarrow \text{pritisak vjetra na vanjske površine}$$

$$w_i = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi} \text{ (kN/m}^2\text{)} \rightarrow \text{pritisak vjetra na unutarnje površine}$$

$z_e, z_i \rightarrow$  referentne visine za lokalni ili unutarnji tlak

$q_{ref} \rightarrow$  referentni pritisak srednje brzine vjetra

$c_{pe}, c_{pi} \rightarrow$  vanjski i unutarnji koeficijenti pritiska

Proračun referentnog pritiska vjetra  $q_{ref}$  :

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{ref}^2$$

$\rho \rightarrow$  gustoća zraka ( $\text{kg/m}^3$ )

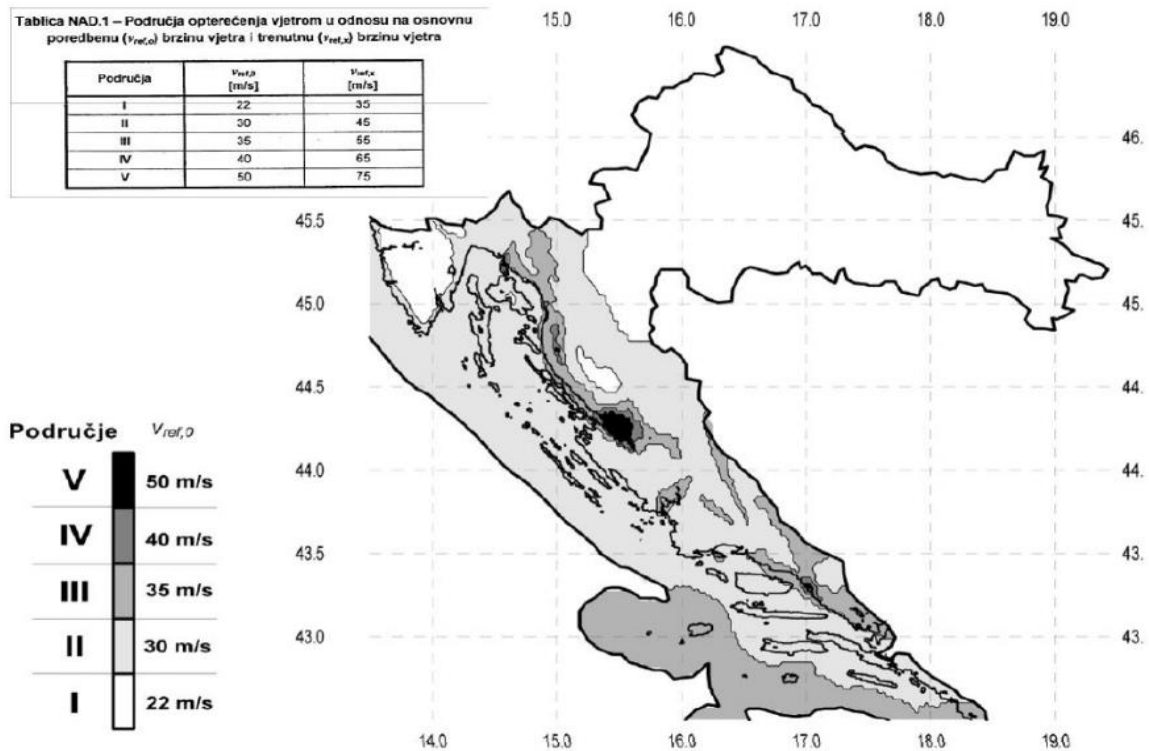
$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$v_{ref} \rightarrow$  referentna brzina

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$$

$v_{ref,0} \rightarrow$  osnovna poredbena brzina vjetra

## DJELOVANJE VJETRA



Slika 3. Područja opterećenja vjetrom i osnovne poredbene brzine vjetrom

$v_{ref,0} = 30 \text{ m/s}$  za područje III, Split, do 100 m nadmorske visine

$c_{DIR} \rightarrow$  koeficijent smjer vjetra

$$c_{DIR} = 1,0$$

$c_{TEM} \rightarrow$  koeficijent ovisan o godišnjem dobu

$$c_{TEM} = 1,0$$

$c_{ALT} \rightarrow$  koeficijent nadmorske visine

$$c_{ALT} = 1,0 + 0,001 \cdot a_s$$

$a_s \rightarrow$  nadmorska visina mjesta (m)

$$c_{ALT} = 1,0 + 0,001 \cdot 100 = 1,0$$

$$v_{ref} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 30,0 = 30,0 \text{ m/s}$$

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30,0^2 = 562,5 \text{ N/m}^2$$

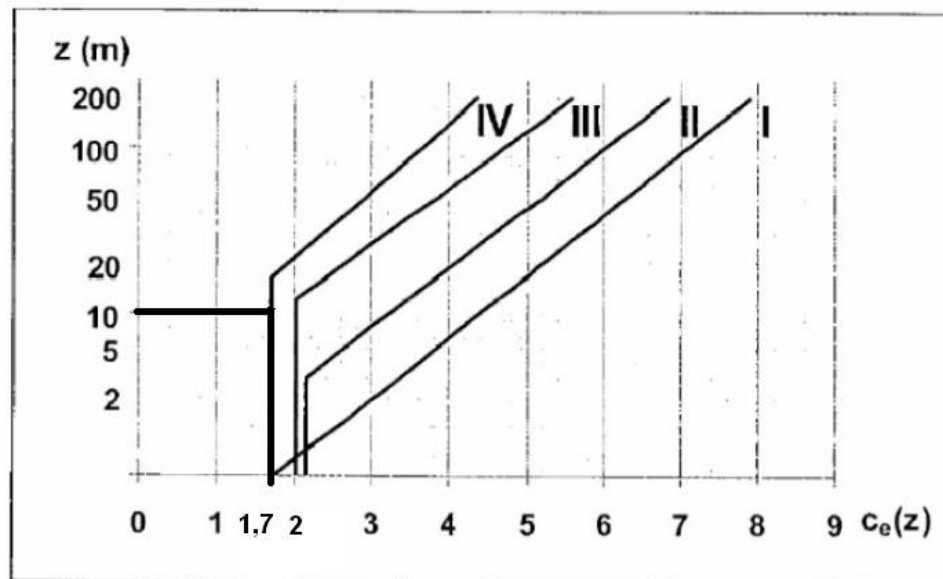
$$q_{ref} = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

Određivanje koeficijenta  $c_e(z_e)$  vrši se u odnosu na kategoriju terena, tj. izloženosti djelovanju vjetra.

Iz dijagrama, uzimajući u obzir visinu konstrukcije  $z = 10\text{m}$  i kategoriju terena IV. , očitano je koeficijent  $c_e$  .

#### DJELOVANJE VJETRA

**Koeficijent izloženosti  $C_e(z)$  u ovisnosti o visini objekta iznad terena i kategoriji zemljišta:**



Za regije P5-P10

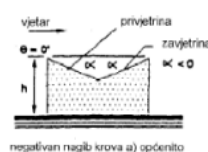
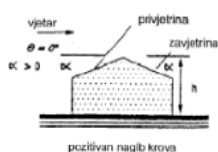
*Slika 4. Dijagram određivanja koeficijenta izloženosti za regije P5 – P10*

Očitano iz dijagrama:  $c_e(z_e) = 1,70$

## ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA VANJSKOG TLAKA

### DJELOVANJE VJETRA

#### Koeficijent vanjskog tlaka $C_{pe}$ – dvostrešni krovovi



(1) Koeficijenti vanjskoga tlaka  $c_{pe}$  za građevine i dijelove građevina ovise o veličini opterećene plohe  $A$ . Oni su prikazani u mjernim tablicama za odgovarajuće oblike zgrada za opterećene plohe površine od  $1 \text{ m}^2$  i od  $10 \text{ m}^2$  kao  $c_{pe,1}$  i  $c_{pe,10}$ . Za druge veličine opterećenih ploha dobiju se promijenjene vrijednosti iz slike 10.2.1.

Smjer vjetra $\theta = 0^\circ$										
nagib $\alpha$	područja									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,3		-0,3	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,3	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2					
30°	0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4					
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,2		-0,3	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Smjer vjetra $\theta = 90^\circ$										
nagib $\alpha$	područja									
	F		G		H		I			
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2		
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2		
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2		
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2		
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2		
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2		
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2		
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	-1,2		
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2		
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2		

NAPOMENA 1 Kod  $\theta = 0^\circ$  i nagiba strehe od  $\alpha = +15^\circ$  do  $+30^\circ$  tlak u privjetrini brzo se mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti, tako da su dane i pozitivne i negativne vrijednosti.

NAPOMENA 2 Za nagibe krova između danih vrijednosti može se upotrijebiti linearna interpolacija ako su vrijednosti istoga predznaka. (Ne smije se interpolirati za  $\alpha = +5^\circ$  do  $\alpha = -5^\circ$ , nego valja uzeti vrijednosti za ravna krovove iz točke 10.2.3.)

Slika 5. Tablice za određivanje koeficijenata vanjskog tlaka po zonama

Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina  $z_e$  uzima kao ukupna visina građevine.

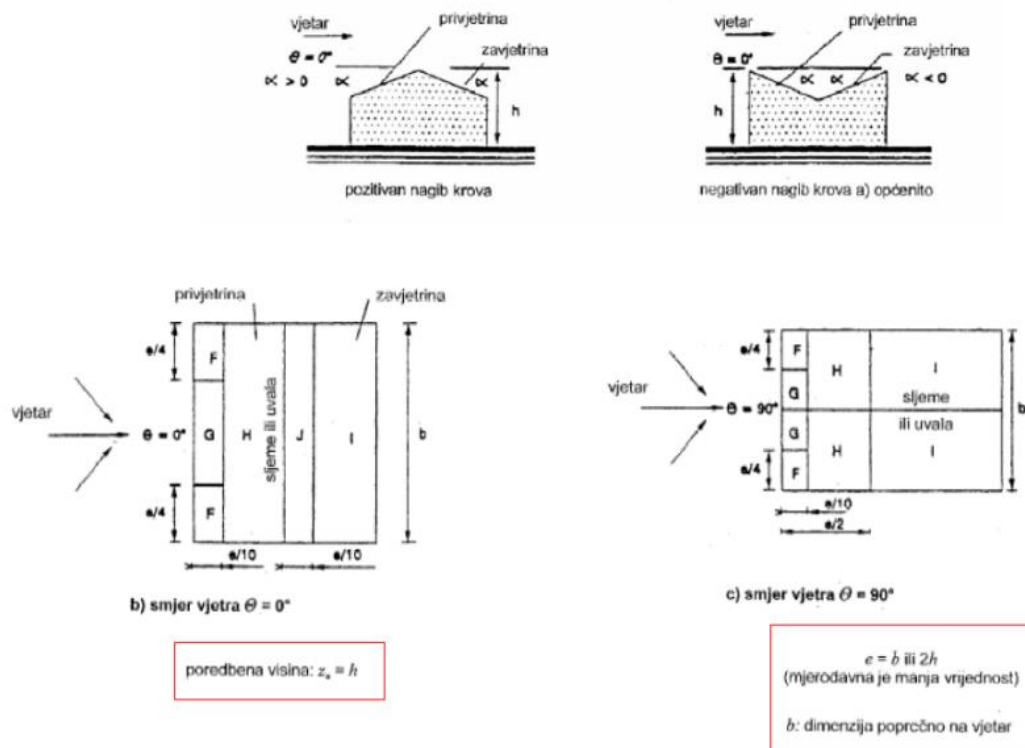
Koeficijenti vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za građevine i dijelove građevine ovise o veličini opterećene plohe  $A$ .

Kod  $\theta = 0^\circ$  i nagiba strehe od  $\alpha = +15^\circ$  do  $+30^\circ$  tlak u privjetrini brzo se mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti, tako da su dane i pozitivne i negativne vrijednosti. Za nagibe krova između danih vrijednosti može se upotrijebiti linearna interpolacija ako su vrijednosti istoga predznaka. Ne smije se interpolirati za  $\alpha = +5^\circ$  do  $\alpha = -5^\circ$ , nego valja uzeti vrijednosti za ravna krovove.

## ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA UNUTRAŠNJEG TLAKA

Koeficijenti  $c_{pi}$  ovise o veličini i raspodjeli otvora na oblozi hale (fasada i krov). U ovom primjeru nije definiran raspored i veličina otvora, zato se za vrijednosti  $c_{pi}$  usvaja vrijednost iz starih normi.

Unutrašnji koeficijent pritiska  $\rightarrow c_{pi} = \pm 0,3$



Slika 6. Podjela krovne površine na zone

Koeficijenti vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za građevine i dijelove građevina ovise o veličini opterećene plohe A.  
Koeficijenti vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za opterećene plhe ploštine  $10 \text{ m}^2$ :

*Smjer vjetra  $\rightarrow \theta = 0^\circ$*

*Za  $\alpha = -3^\circ$*

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2

*Za  $\alpha = +3^\circ$*

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_{ref} = 0,956 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e(z_e) = 1,70$$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,20	-0,7	+/- 0,2
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,73	-1,15	-0,67	+/- 0,19

$c_{pi} = \pm 0,3 \rightarrow$  *unutrašnji koeficijent pritiska*

$$w_e = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_{ref} = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$c_i(z_i) = 1,70$$

$$w_e = 0,563 \cdot 1,70 \cdot 0,30 = \pm 0,28 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_k = w_k \cdot L \text{ (kN/m')}$$

$$L = 7,50 \text{ m ...razmak okvira}$$

*Vjetar W1      pozitivni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,3$ )*

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,28	+0,28	+0,28	+0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-2,81	-1,43	-0,95	-0,47
$W_k \text{ (kN/m')}$	-21,07	-10,73	-7,13	-3,53

*Vjetar W2      negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )*

PODRUČJE	F	G	H	I
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,28	-0,28	-0,28	-0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,45	-0,87	-0,39	+0,09
$W_k \text{ (kN/m')}$	-10,88	-6,53	-2,93	+0,68

Mjerodavno W1



$$q_{ref} = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$c_i(z_i) = 1,70$$

$$w_e = 0,563 \cdot 1,70 \cdot 0,30 = \pm 0,28 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$$w_k = w_e - w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_{ref} = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e(z_e) = 1,70$$

$$W_k = w_k \cdot L \text{ (kN/m')}$$

$L = 1,50 \text{ m}$  ...razmak sekundarnih nosača

*Vjetar W1      pozitívni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,3$ )*

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,96	-0,77	-0,48
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,28	+0,28	+0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-1,24	-1,05	-1,76
$W_k \text{ (kN/m')}$	-1,86	-1,58	-2,64

*Vjetar W2      negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )*

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,96	-0,77	-0,48
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,28	-0,28	-0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,68	-0,49	-0,2
$W_k \text{ (kN/m')}$	-1,02	-0,74	-0,3

Mjerodavno vjetar W1.

Za područje D i E:

$L = 7,50 \text{ m}$  ...razmak okvira

*Vjetar W1      pozitivni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = +0,3$ )*

PODRUČJE	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,77	-0,28
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,28	+0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,49	-0,48
$W_k \text{ (kN/m')}$	+3,68	-3,6

*Vjetar W2      negativni unutarnji pritisak ( $c_{pi} = -0,3$ )*

PODRUČJE	D	E
$w_e \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+0,77	-0,28
$w_i \text{ (kN/m}^2\text{)}$	-0,28	-0,28
$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	+1,05	$\pm 0,00$
$W_k \text{ (kN/m')}$	+7,87	$\pm 0,00$

Mjerodavno W1 za područje E, W2 za područje D.

### 3. Granično stanje uporabljivosti

Djelovanja:

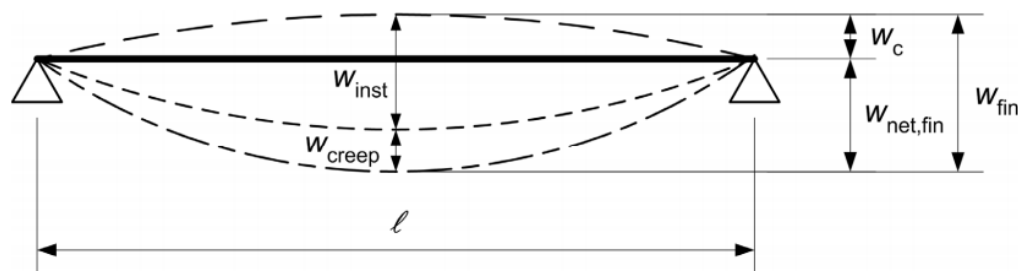
*Stalno opterećenje – Vlastita težina:*

$$G_k = 3,75 \text{ kN/m'}$$

*Promjenjivo opterećenje – Snijeg:*

$$S_k = 2,70 \text{ kN/m'}$$

Odabir kombinacije djelovanja, za granična stanja uporabljivosti, ovisi o prirodi učinka koji se provjerava, npr. nepovratni, povratni ili dugotrajni. Prema DIN 1052::2004-08, dokaz se se provodi za karakterističnu (rijetku) i nazovistalnu kombinaciju.



Slika 8. Komponente progiba

#### 3.1 Karakteristična (rijetka) kombinacija

$$E_d = E \left\{ \sum \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_Q \cdot Q_{k,1} \oplus \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$G_d = 1,00 \cdot 3,75 = 3,75 \text{ kN/m'}$$

$$Q_d = 1,00 \cdot 2,70 = 2,70 \text{ kN/m'}$$

$$w_{Q,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_d \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,70 \cdot 24000^4}{12600 \cdot \frac{180 \cdot 1600^3}{12}} = 15,06 \text{ mm}$$

$$w_{G,inst} = \frac{G_k}{Q_k} \cdot w_{Q,inst} = \frac{3,75}{2,70} \cdot 15,06 = 20,92 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin}$$

$$w_{G,fin} = w_{G,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

$$w_{G,fin} = 20,92 \cdot (1 + 0,80) = 36 \text{ mm}$$

$$w_{Q,fin} = w_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$w_{Q,fin} = 15,06 \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,80) = 15,06 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = 36 + 15,06 = 51,06 \text{ mm}$$

Dokaz za granično stanje uporabljivosti:

$$w_{Q,inst} \leq \frac{L}{300}$$

$$15,06 \leq \frac{24000}{300} = 80,0 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{15,06}{80,0} \cdot 100 = 0,188 \cdot 100 = 18,8 \%$$

### 3.2 Nazovistalna kombinacija

$$E_d = E \left\{ \sum \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$w_{fin} - w_0 < \frac{L}{200}$$

$$w_{Q,fin} = \psi_{2,1} \cdot w_{Q,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

$$w_{Q,fin} = 0,0 \cdot 15,06 \cdot (1 + 0,80) = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin} = 36 + 0,0 = 36 \text{ mm}$$

Dokaz:

– *izvođenje bez početnog nadvišenja*

$$w_{fin} - w_0 = 36 - 0,0 = 36 < \frac{L}{200} = 120,0 \text{ mm}$$

$$\eta = \frac{36}{120,0} \cdot 100 = 0,30 \cdot 100 = 30,0 \%$$

## 4. Statički proračun

### 4.1. Opterećenja i proračun reznih sila

#### 4.1.1. Stalno opterećenje – Vlastita težina

Moment

$$M_{l/2} = g_k \cdot \frac{l^2}{8} = 3,75 \cdot \frac{24^2}{8} = 270 \text{ kNm}$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = V_{l=L} = g_k \cdot \frac{L}{2} = 3,75 \cdot \frac{24,0}{2} = 45,0 \text{ kN}$$

Uzdužna sila

$$N = 0 \text{ kN}$$

#### 4.1.2. Promjenjivo opterećenje – Snijeg

Moment

$$M_{l/2} = s_k \cdot \frac{l^2}{8} = 2,70 \cdot \frac{24^2}{8} = 194,4 \text{ kNm}$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = V_{l=L} = s_k \cdot \frac{L}{2} = 2,70 \cdot \frac{24,0}{2} = 32,4 \text{ kN}$$

Uzdužna sila

$$N = 0 \text{ kN}$$

#### 4.1.3. Promjenjivo opterećenje – Vjetar W1

Moment

$$M_{l/2} = -397,68 \text{ kNm} \rightarrow \text{dobiveno proračunom reznih sila}$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = +101,48 \text{ kN} \rightarrow \text{dobiveno proračunom reznih sila}$$

Uzdužna sila

$$N = 0 \text{ kN}$$



## 4.2.KOMBINACIJA 1 →Vlastita težina "+" Snijeg

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{G,j} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50$$

$$q_{G,d} = \gamma_G \cdot q_{G,k} = 1,35 \cdot 3,75 = 5,06 \text{ kN/m'}$$

$$q_{Q,d} = \gamma_Q \cdot q_{Q,k} = 1,50 \cdot 2,70 = 4,05 \text{ kN/m'}$$

$$q_d = q_{G,d} + q_{Q,d} = 5,06 + 4,05 = 9,11 \text{ kN/m'}$$

$$M_{ap,d} = q_d \cdot \frac{l^2}{8} = 9,11 \cdot \frac{24,0^2}{8} = 655,92 \text{ kNm}$$

$$V_{A,d} = q_d \cdot \frac{l}{2} = 9,11 \cdot \frac{24,0}{2} = 109,32 \text{ kN}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka b/h = 18/160cm

$$A = 18,0 \cdot 160,0 = 2880,0 \text{ cm}^2$$

$$W_{ap,y} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{18,0 \cdot 160,0^2}{6} = 76800,0 \text{ cm}^3$$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema EC5:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap}}{b \cdot h_{ap}^2} = k_l \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot (\tan \alpha_{ap})^2$$

$$\sigma_{m,d} = \left( 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot (\tan \alpha_{ap})^2 \right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{m,d} = \left( 1 + 1,4 \cdot \tan 3^\circ + 5,4 \cdot (\tan 3^\circ)^2 \right) \cdot \frac{655,92 \cdot 10^6}{76800,0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 9,29 \text{ N/mm}^2$$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema EC5:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \cdot \tan 3^\circ \cdot \frac{655,92 \cdot 10^6}{76800,0 \cdot 10^3} = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{109,32 \cdot 10^3}{2880,0 \cdot 10^2} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti GL28C/1

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za  $k_{mod}$ , u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1,30$  – preporučeni parcijalni koeficijent za LLD

DIN 1052:2004 – 08

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{16,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 11,42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

Normalno rubno naprezanje:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} < 1$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{9,29}{1,0 \cdot 19,38} = 0,46 < 1$$

Područje tjemena (vlačno naprezanje okomito na vlakanca i posmično naprezanje od poprečne sile):

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 < 1$$

$$\tau_d = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{dis} = 1,3$$

$$k_{dis} = 1,3 \rightarrow \text{za sedlaste grede prema DIN 1052: 2004 – 08 } h_0 = 600 \text{ mm – usporedna isina}$$

(umjesto usporedne visine u EC5 proračun se provodi usporednim volumenom  $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ )

$$\frac{0,09}{1,4 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0,36} + \left(\frac{0,57}{2,52}\right)^2 = 0,29 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečnanaprezanja (promjena vlažnosti okoline)

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot 0,6 \cdot f_{t,90,d}} < 1$$

$$k_{dis} = 1,3 \rightarrow \text{za trapezaste grede}$$

prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{0,09}{1,3 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0,6 \cdot 0,36} = 0,43 < 1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$$M_{ap,d} = 655,92 \text{ kNm}$$

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 655,92 \cdot 10^6}{18 \cdot 160^2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 8,54 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef,y} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}}$$

Nosač je bočno pridrzan u polovini raspona, razmak pridrżanih točka:

$$l_{ef,y} = \frac{24,0}{2} = 12,0 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{(12,0 \cdot 10^3) \cdot (160 \cdot 10)}{\pi \cdot (18 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{28,0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1,45$$

$$k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,45^2} = 0,47$$

Dokaz stabilnosti:

Prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{8,54}{0,47 \cdot 19,38} = 0,93 < 1$$

### 4.3.KOMBINACIJA 2 →Vlastita težina "+" Vjetar W1

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{G,j} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$$\gamma_{G,j} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50$$

$$M_{G,d} = \gamma_G \cdot M_{G,k} = 1,00 \cdot 270,0 = 270,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,d} = \gamma_Q \cdot M_{Q,k} = 1,50 \cdot 397,68 = 596,52 \text{ kNm}$$

$$M_d = M_{G,d} + M_{Q,d} = 270,0 - 596,52 = 326,52 \text{ kNm}$$

$$M_{ap,d} = 326,52 \text{ kNm}$$

$$V_{G,d} = \gamma_G \cdot V_{G,k} = 1,00 \cdot 45,0 = 45,0 \text{ kN}$$

$$V_{Q,d} = \gamma_Q \cdot V_{Q,k} = 1,50 \cdot 101,48 = 152,22 \text{ kN}$$

$$V_d = V_{G,d} + V_{Q,d} = 45,0 - 152,22 = -107,22 \text{ kN}$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka b/h = 18/160cm

$$A = 18,0 \cdot 160,0 = 2880,0 \text{ cm}^2$$

$$W_{ap,y} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{18,0 \cdot 160,0^2}{6} = 76800,0 \text{ cm}^3$$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema EC5:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap}}{b \cdot h_{ap}^2} = k_l \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot (\tan \alpha_{ap})^2$$

$$\sigma_{m,d} = \left( 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot (\tan \alpha_{ap})^2 \right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{m,d} = \left( 1 + 1,4 \cdot \tan 3^\circ + 5,4 \cdot (\tan 3^\circ)^2 \right) \cdot \frac{326,52 \cdot 10^6}{76800,0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 4,62 \text{ N/mm}^2$$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema EC5:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap} \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \cdot \tan 3^\circ \cdot \frac{326,52 \cdot 10^6}{76800,0 \cdot 10^3} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{107,22 \cdot 10^3}{2880,0 \cdot 10^2} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti GL28C/1

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za  $k_{mod}$ , u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1,30$  – preporučeni parcijalni koeficijent za LLD

DIN 1052: 2004 – 08 :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{16,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 11,42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$



Normalno rubno naprezanje:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} < 1$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{4,62}{1,0 \cdot 19,38} = 0,24 < 1$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

Područje tjemena (vlačno naprezanje okomito na vlakanca i posmično naprezanje od poprečne sile):

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 < 1$$

$$\tau_d = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{dis} = 1,3$$

$k_{dis} \rightarrow$  koeficijent kojim se uvažava učinak nelinearne raspodjele naprezanja

u području tjemena (EC5:  $k_{dis} = 1,4$ )

$h_0 = 600 \text{ mm}$  – usporedna isina

(umjesto usporedne visine u EC5 proračun se provodi usporednim volumenom  $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ )

$$\frac{0,05}{1,4 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0,36} + \left(\frac{0,56}{2,52}\right)^2 = 0,18 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečna naprezanja (promjena vlažnosti okoline)

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot 0,6 \cdot f_{t,90,d}} < 1$$

$k_{dis} = 1,3 \rightarrow$  za trapezaste grede

prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{0,05}{1,3 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0,6 \cdot 0,36} = 0,22 < 1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$$M_{ap,d} = 326,52 \text{ kNm}$$

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 326,52 \cdot 10^6}{18 \cdot 160^2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 4,25 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef,y} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}}$$

Nosač je bočno pridrzan u polovini raspona, razmak pridrżanih točaka:

$$l_{ef,y} = \frac{24,0}{2} = 12,0 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{(12,0 \cdot 10^3) \cdot (160 \cdot 10)}{\pi \cdot (18 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{28,0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1,45$$

$$k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,45^2} = 0,47$$

Dokaz stabilnosti prema DIN 1052: 2004 – 08 :

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{4,25}{0,47 \cdot 19,38} = 0,47 < 1$$

## 5. Dimenzioniranje podrožnica

Djelovanja:

Vlastita težina - Paneli

*Stalno opterećenje*

*Folija* 0,03

*OSB/3 22 mm* 0,14

*Rebra* 0,15

*Izolacija* 0,08

*OSB/3 15 mm* 0,10

$$g_k = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Vlastita težina

$$q_{G,k} = g_k \cdot \frac{a}{\cos \alpha} = 0,50 \cdot \frac{2,0}{\cos 3^\circ} = 1,00 \text{ kN/m'}$$

Snijeg

$$q_{S,k} = s_k \cdot \frac{a}{\cos \alpha} = 0,36 \cdot \frac{2,0}{\cos 3^\circ} = 0,72 \text{ kN/m'}$$

Vjetar W1

$$q_{W1,k} = w_k \cdot \frac{a}{\cos \alpha} = -0,95 \cdot \frac{2,0}{\cos 3^\circ} = -1,90 \text{ kN/m'}$$

### 5.1.KOMBINACIJA 1 → Vlastita težina "+" Snijeg

$$q_d = 1,35 \cdot q_{G,k} + 1,50 \cdot q_{S,k}$$

$$q_d = 1,35 \cdot 1,0 + 1,50 \cdot 0,72 = 2,43 \text{ kN/m'}$$

$$q_{z,d} = q_d \cdot \cos \alpha = 2,43 \cdot \cos 3^\circ = 2,42 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = q_d \cdot \sin \alpha = 2,43 \cdot \sin 3^\circ = 0,12 \text{ kN/m'}$$

*Rezne sile → Određene primjenom metode anvelopa na kontinuiranom nosaču čime su određeni njegovi ekstremi reznih sila u polju i iznad ležajeva nosača*

$$M_{polja} = 0,1 \cdot q \cdot l^2 \rightarrow \text{Moment u polju (kNm)}$$

$$M_{iznad ležaja} = \frac{q \cdot l^2}{8} \rightarrow \text{Moment u polju (kNm)}$$

$$V_{krajnji ležajevi} = \frac{3}{8} \cdot q \cdot l$$

$$V_{referentni srednji ležaj} = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$$

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2,42 \cdot 7,50^2}{8} = 17,01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,12 \cdot 7,50^2}{8} = 0,84 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{z,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 2,42 \cdot 7,50 = 11,34 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{y,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 0,12 \cdot 7,50 = 0,56 \text{ kN}$$

Mjerodavna uzdužna sila u podrožnicama:

$$N = 18,0 \text{ kN (vlak)}$$

#### 5.1.1.1. Sekundarni nosači – Podrožnice – Van sustava stabilizacije

Van sustava stabilizacije b/h = 14/22 cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718 \text{ cm}^3$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti GL28C/1

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za  $k_{mod}$ , u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1,30$  – *parcijalni koeficijent za LLD prema DIN 1052: 2004 – 08*

DIN 1052: 2004 – 08 :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{16,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 11,42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18,00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17,01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{11,34 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,56 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84,18 < 140 \rightarrow k_m = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

Proračun presjeka napregnutih u jednom glavnom smjeru

Primenjuje se na ravno cjelovito drvo, lijepljeno lamelirano drvo ili proizvode na osnovi drva.

konstantnog presjeka čija su vlaknaca uglavnom paralelna s duljinom elementa. Pretpostavlja se da je element napregnut u smjeru samo jedne njegove glavne osi.

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,58}{11,42} + \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{1,17}{19,38} = 0,86 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0,58}{11,42} + 0,7 \cdot \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{1,17}{19,38} = 0,66 < 1,0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0,55}{2,42}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{2,42}\right)^2 = 0,052 < 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava.

Usvojeno b/h = 14/22 cm

### 5.1.1.2. Sekundarni nosači – Podrožnice – U sustavu stabilizacije

#### GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI SENDVIČ PANELA

Dokaz nosivosti i stabilnosti koji pridržavaju tlačni pojas glavnog nosača

U sustavu stabilizacije  $b/h = 14/22$  cm

Zamjenjujuće djelovanje (stabilizacija LLN):

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{80}$$

Pri čemu je srednja vrijednost vlačne sile u gornjem pojasu LLN-a:

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{y,d}}{h_1}$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h_1}{\pi \cdot b_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}}$$

$$l_{ef} = \frac{12,00}{\cos 3^\circ} = 12,02 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{12,02 \cdot 10^3 \cdot (160,0 \cdot 10)}{\pi \cdot 180^2}} \cdot \sqrt{\frac{28,0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1,45$$

$$k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,45^2} = 0,47$$

$$N_d = (1 - 0,47) \cdot \frac{655,92}{1,60} = 217,27 \text{ kN}$$



Koeficijent izvijanja:

$$k_c = \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1,0 \right\}$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{12,03 \cdot 10^3}{0,289 \cdot 180} = 231,25$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{231,25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24,00}{10500}} = 3,52$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2]$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ za LLN}$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (3,52 - 0,3) + 3,52^2] = 6,85$$

$$k_c = \min \left\{ \frac{1}{6,85 + \sqrt{6,85^2 - 3,52^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,077; 1,0\} = 0,078$$

$$F_d = \frac{217,27 \cdot (1 - 0,078)}{80} = 2,50 \text{ kN}$$

Ove podrožnice preuzimaju opterećenja sa krovne plohe i sile stabilizacije glavnih nosača (dvoosno savijanje i tlak)

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{c,0,d} = n \cdot \frac{F_d}{A}$$

$$n = \frac{7}{2} = 3,5 \text{ (broj nosača po spregu)}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 3,5 \cdot \frac{2,50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17,01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0,289 \cdot 140} = 185,36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0,183$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84,18 < 140 \rightarrow k_m = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

Prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,28}{0,183 \cdot 16,62} + \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{1,17}{19,38} = 0,88 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,28}{0,183 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{1,17}{19,38} = 0,69 < 1,0$$

### 5.1.2. Spojevi glavni nosači – podrožnice

Zamjenjujuće djelovanje od izbočavanja:

$$q_d = k_1 \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot \bar{l}}$$

$$k_1 = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{\bar{l}}} \right\} = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{12,02}} \right\} = 1$$

$$n = \frac{7}{2} = 3,5$$

$$N_d = 217,27 \text{ kN}$$

$$q_d = 1 \cdot \frac{5,5 \cdot 217,27}{30 \cdot 12,02} = 3,31 \text{ kN/m}$$

Djelovanje vjetra (na jedan spreg)

$$q_{w,1,d} = \frac{q_{w,d}}{2} = \frac{-0,95}{2} = -0,48 \text{ kN/m}$$

Ukupno djelovanje:

$$q_{TOT,d} = q_d + q_{w,1,d} = 3,31 - 0,48 = 2,83 \text{ kN/m'}$$

Ukupno u čvorovima:

$$F_d = q_{TOT,d} \cdot \bar{a} = 2,83 \cdot \frac{4,0}{\cos 3^\circ} = -11,33 \text{ kN}$$

Sile u pojasevima  $O_3(U_3)$  glavnog nosača

$$N_{O_3(U_3)d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}^2}{8 \cdot e} = \frac{2,83 \cdot 12,02^2}{8 \cdot 7,5} = 6,81 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice)

$$N_{V_1d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}}{2} = \frac{2,83 \cdot 12,02}{2} = 13,82 \text{ kN}$$

Sile u dijagonalama

$$\tan \beta = \frac{\frac{12,02}{4}}{7,5} = 0,40 \rightarrow \beta = 21,83^\circ$$

$$N_{D_1d} = \frac{N_{V_1d} - \frac{F_d}{2}}{\cos \beta} = \frac{13,82 - \frac{11,33}{2}}{\cos 21,83^\circ} = 8,78 \text{ kN}$$

### 5.1.3. Dokaz za podrožnice

$$\sigma_{c,0,V_1,d} = \frac{N_{V_1d}}{A} = \frac{13,82 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0,289 \cdot 140} = 185,36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0,183$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17,01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = 3,5 \cdot \frac{2,50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Komentar: Proračun je na strani sigurnosti jer je kod  $\sigma_{c,0,V_1,d}$  uzeta sila u prvoj podrožnici – vertikali sprega.

Dokaz nosivosti i stabilnosti

Prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{0,28 + 0,45}{0,183 \cdot 16,62} + \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{1,17}{1,0 \cdot 19,38} = 1,023$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{0,28 + 0,45}{0,183 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{15,06}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{1,17}{1,0 \cdot 19,38} = 0,808 < 1,0$$

## 5.2.KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina "+" Vjetar W1

$$q_d = 1,00 \cdot q_{G,k} - 1,50 \cdot q_{W1,k}$$

$$q_{z,d} = 1,00 \cdot q_{G,k} \cdot \cos \alpha - 1,50 \cdot q_{W1,k}$$

$$q_{z,d} = 1,00 \cdot 0,50 \cdot \cos 3^\circ - 1,50 \cdot 1,90 = -2,35 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = 1,35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin \alpha = 1,35 \cdot 0,50 \cdot \sin 3^\circ = 0,04 \text{ kN/m'}$$

*Rezne sile → Određene primjenom metode anvelopa na kontinuiranom nosaču čime su određeni njegovi ekstremi reznih sila u polju i iznad ležajeva nosača*

$$M_{polja} = 0,1 \cdot q \cdot l^2 \rightarrow \text{Moment u polju (kNm)}$$

$$M_{iznad ležaja} = \frac{q \cdot l^2}{8} \rightarrow \text{Moment u polju (kNm)}$$

$$V_{krajnji ležajevi} = \frac{3}{8} \cdot q \cdot l$$

$$V_{referentni srednji ležaj} = \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$$

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2,35 \cdot 7,50^2}{8} = 16,52 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,04 \cdot 7,50^2}{8} = 0,28 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{z,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 2,35 \cdot 7,50 = 11,02 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{y,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 0,04 \cdot 7,50 = 0,19 \text{ kN}$$

Mjerodavna uzdužna sila u podrožnicama:

$$N = 18,0 \text{ kN (vlak)}$$

### 5.2.1.1. Sekundarni nosači - Podrožnice - Van sustava stabilizacije

Van sustava stabilizacije b/h = = 14/22 cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718 \text{ cm}^3$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti GL28C/1

$$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{90,mean} = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za  $k_{mod}$ , u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1,30$  – preporučeni parcijalni koeficijent za LLD

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{28 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 19,38 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{16,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 11,42 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{0,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{3,5 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 2,42 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18,00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16,52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{11,02 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,53 \text{ N/mm}^2$$



$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,19 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84,18 < 140 \rightarrow k_m = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,58}{11,42} + \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{0,39}{19,38} = 0,66 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0,58}{11,42} + 0,7 \cdot \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{0,39}{19,38} = 0,59 < 1,0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0,53}{2,42}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{2,42}\right)^2 = 0,047 < 1,0$$

Poprečni presjek zadovoljava.

Usvojeno b/h = 14/22 cm

### 5.2.1.2. Sekundarni nosači - Podrožnice - U sustavu stabilizacije

U sustavu stabilizacije  $b/h = 14/22$  cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308 \text{ cm}^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718 \text{ cm}^3$$

Zamjenjujuće djelovanje (stabilizacija LLN):

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{80}$$

Pri čemu je srednja vrijednost vlačne sile u gornjem pojasu LLN-a:

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{y,d}}{h_1}$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h_1}{\pi \cdot b_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}}$$

$$l_{ef} = \frac{12,00}{\cos 3^\circ} = 12,02 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{12,02 \cdot 10^3 \cdot (160,0 \cdot 10)}{\pi \cdot 180^2}} \cdot \sqrt{\frac{28,0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1,45$$

$$k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,45^2} = 0,47$$

$$N_d = (1 - 0,47) \cdot \frac{655,92}{1,60} = 217,27 kN$$

$$k_c = \min \left\{ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}; 1,0 \right\}$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{12,03 \cdot 10^3}{0,289 \cdot 180} = 231,25$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{231,25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24,00}{10500}} = 3,52$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2]$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ za LLN}$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (3,52 - 0,3) + 3,52^2] = 6,85$$

$$k_c = \min \left\{ \frac{1}{6,85 + \sqrt{6,85^2 - 3,52^2}}; 1,0 \right\} = \min\{0,077; 1,0\} = 0,078$$

$$F_d = \frac{217,27 \cdot (1 - 0,078)}{80} = 2,50 kN$$

Ove podrožnice preuzimaju opterećenja sa krovne plohe i sile stabilizacije glavnih nosača (dvoosno savijanje i tlak)

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{c,o,d} = n \cdot \frac{F_d}{A}$$

$$n = \frac{7}{2} = 3,5 \text{ (broj nosača po spregu)}$$

$$\sigma_{c,o,d} = 3,5 \cdot \frac{2,50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16,52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0,289 \cdot 140} = 185,36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0,183$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84,18 < 140 \rightarrow k_m = 1,0 \quad k_{red} = 0,7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

Prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,28}{0,183 \cdot 16,62} + \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{0,39}{19,38} = 0,85 < 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,28}{0,183 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{0,39}{19,38} = 0,63 < 1,0$$

### 5.2.2. Spojevi glavni nosači – Podrožnice

Zamjenjujuće djelovanje od izbočavanja:

$$q_d = k_1 \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot \bar{l}}$$

$$k_1 = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{\bar{l}}} \right\} = \min \left\{ 1; \sqrt{\frac{15}{12,02}} \right\} = 1$$

$$n = \frac{7}{2} = 3,5$$

$$N_d = 217,27 \text{ kN}$$

$$q_d = 1 \cdot \frac{5,5 \cdot 217,27}{30 \cdot 12,02} = 3,31 \text{ kN/m}$$

Djelovanje vjetra (na jedan panel) :

$$q_{w,1,d} = \frac{q_{w,d}}{2} = \frac{-0,95}{2} = -0,48 \text{ kN/m}$$

Ukupno djelovanje:

$$q_{TOT,d} = q_d + q_{w,1,d} = 3,31 - 0,48 = 2,83 \text{ kN/m'}$$

Ukupno u čvorovima:

$$F_d = q_{TOT,d} \cdot \bar{a} = 2,83 \cdot \frac{4,0}{\cos 3^\circ} = -11,33 \text{ kN}$$

Sile u pojasevima  $O_3(U_3)$  glavnog nosača

$$N_{O_3(U_3)d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}^2}{8 \cdot e} = \frac{2,83 \cdot 12,02^2}{8 \cdot 7,5} = 6,81 \text{ kN}$$

Sile u vertikalama (podrožnice)

$$N_{V_1d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}}{2} = \frac{2,83 \cdot 12,02}{2} = 13,82 \text{ kN}$$

Sile u dijagonalama

$$\tan \beta = \frac{\frac{12,02}{4}}{7,5} = 0,40 \rightarrow \beta = 21,83^\circ$$

$$N_{D_1d} = \frac{N_{V_1d} - \frac{F_d}{2}}{\cos \beta} = \frac{13,82 - \frac{11,33}{2}}{\cos 21,83^\circ} = 8,78 \text{ kN}$$

### 5.2.3. Dokaz za glavne nosače (rubni pojasevi)

Sendvič paneli spojeni su na glavne nosače u neposredno iznad gornjeg pojasa nosača. Pretpostavlja se približno jednolika raspodjela naprezanja od uvođenja sile panela u glavni nosač na 1/6 njegove visine (sudjelujuća visina).

$$\bar{h}_1 = \frac{h_1}{6} = \frac{160}{6} = 26,67 \text{ cm}$$

$$\bar{A} = b_1 \cdot \bar{h}_1 = 18,0 \cdot 26,67 = 480,06 \text{ cm}^2$$

Proračunsko naprezanje od panela:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{O_3(U_3)d}}{\bar{A}} = \frac{6,81 \cdot 10^3}{480,06 \cdot 10^2} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16,52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14,63 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijenti  $k_c$  i  $k_m$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{4,005 \cdot 1000}{0,289 \cdot 180} = 76,98 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0,617$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h_1}{b_1^2} = \frac{4005 \cdot 1600}{180^2} = 197,78 > 140 \rightarrow k_m = 1,0$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

Prema DIN 1052:2004 – 08

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{0,14}{0,617 \cdot 16,62} = 0,768 < 1$$

#### 5.2.4. Dokaz za podrožnice

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18,00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,V_1,d} = \frac{N_{V_1,d}}{A} = \frac{13,82 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0,289 \cdot 140} = 185,36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0,183$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16,52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

Prema DIN 1052: 2004 – 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{0,28 + 0,45}{0,183 \cdot 16,62} + \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{0,39}{1,0 \cdot 19,38} = 1,01$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1,0$$

$$\frac{0,28 + 0,45}{0,183 \cdot 16,62} + 0,7 \cdot \frac{14,63}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{0,39}{1,0 \cdot 19,38} = 0,79 < 1,0$$

KOMNETAR: Nakon dimenzioniranja cijelog sustava dobio sam da sve opterećenje primaju paneli pa su podrožnice suviše!

## 6. Vatrootpornost drvene konstrukcije

Izvanredna proračunska situacija – puna kombinacija:

$$E_{dA} = E \left\{ \sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{PA} \cdot P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{2,1} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$\oplus$  → oznaka za "da bude kombiniran sa"

$\sum$  → oznaka "za kombinirani učinak"

$G_{k,j}$  → karakteristična vrijednost stalnog djelovanja

$P_k$  → karakteristična vrijednost djelovanja prednapinjanja

$Q_{k,1}$  → karakteristična vrijednost dominantnog promjenjivog djelovanja

$Q_{k,i}$  → karakteristične vrijednosti ostalih promjenjivih djelovanja

$A_d$  → proračunska vrijednost izvanrednog djelovanja

$\gamma_{GA,j}$  → parcijalni koeficijent stalnog djelovanja za izvanredne proračunske situacije

$\gamma_{PA}$  → parcijalni koeficijent za djelovanje prouzročeno prednapinjanje za izvanredne proračunske situacije

$\psi$  → koeficijenti kombinacija

Ova situacija uključuje jedno izričito djelovanje, u ovom slučaju požar.

Stvarna kombinacija ( $P_k = 0$  ;  $A_d = 0$ )

$$E_{dA} = E \left\{ \sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{2,1} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

$\gamma_{GA,j} = 1,0$

$\psi$  → Koeficijent kombinacije za zgrade

$\psi_{1,1} = 0,7$  → Kategorija D: trgovine



## 6.1.KOMBINACIJA 1 →Vlastita težina "+" Snijeg

$$q_{G,d,fi} = \gamma_{GA,j} \cdot q_{G,k} = 1,0 \cdot 3,75 = 3,75 \text{ kN/m'}$$

$$q_{Q,d,fi} = \psi_{1,1} \cdot q_{Q,k} = 0,7 \cdot 2,70 = 1,89 \text{ kN/m'}$$

$$q_{d,fi} = q_{G,d,fi} + q_{Q,d,fi} = 3,75 + 1,89 = 5,64 \text{ kN/m'}$$

$$M_{d,fi} = q_{d,fi} \cdot \frac{l^2}{8} = 5,64 \cdot \frac{24,0^2}{8} = 406,8 \text{ kNm}$$

### GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA

Tražena klasa F30 →  $t_f = 30 \text{ min}$  ;  $t_f$  → potrebno vrijeme vatrootpornosti u min

Brzina nagorijevanja  $\beta_n$  drvene građe

Lijepljeno lamelirano drvo GL28C/1 →  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_k \geq 290 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \rightarrow \beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

Gubitak presjeka:

$$d_{(t_f)} = \beta_n \cdot t_f = 0,7 \cdot 30 = 21,0 \text{ mm}$$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 min požara:

$$b_{(t_f)} = b - 2 \cdot d_{(t_f)} = 18,0 - 2 \cdot 2,1 = 13,8 \text{ cm}$$

$$h_{(t_f)} = h - 2 \cdot d_{(t_f)} = 160,0 - 2 \cdot 2,1 = 155,8 \text{ cm}$$

### OSTATAK POPREČNOG PRESJEKA

„Opseg“ – Zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$$u_r = 2 \cdot b_{(t_f)} + 2 \cdot h_{(t_f)} = 2 \cdot 13,8 + 2 \cdot 155,8 = 339,2 \text{ cm}$$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$$A_r = b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)} = 13,8 \cdot 155,8 = 2150,04 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,r} = \frac{b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)}^2}{6} = \frac{13,8 \cdot 155,8^2}{6} = 55829,37 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{406,8 \cdot 10^6}{55829,37 \cdot 10^3} = 7,28 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \rightarrow \text{za LLN}$$

$f_k \rightarrow$  karakteristične vrijednosti čvrstoća pri normalnoj temperaturi

$E_{0,05} \rightarrow$  karakteristična vrijednost  $E$  – modula pri normalnoj temperaturi

$G_{05} \rightarrow$  karakteristična vrijednost  $G$  – modula pri normalnoj temperaturi

$\gamma_{M,fi} = 1,0 \rightarrow$  parcijalni koeficijent svojstava materijala u požaru

$k_{fi} \rightarrow$  faktor za određivanje 20% fraktilne vrijednosti iz 5% fraktilne vrijednosti svojstva materijala

$k_{fi} = 1,15$  za lijepljeno lamelirano drvo

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{339,2 \cdot 10^{-2}}{2150,04 \cdot 10^{-4}} = 0,99$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{339,2 \cdot 10^{-2}}{2150,04 \cdot 10^{-4}} = 0,99$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{339,2 \cdot 10^{-2}}{2150,04 \cdot 10^{-4}} = 0,99$$

$$u_r[m]; A_r[m^2]$$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,99 \cdot 1,15 \cdot \frac{28,0}{1,0} = 32,2 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,99 \cdot 1,15 \cdot \frac{10500}{1,0} = 12075 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,99 \cdot 1,15 \cdot \frac{600}{1,0} = 690 \text{ N/mm}^2$$

DOKAZ STABILNOSTI

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t_f)}}{\pi \cdot b_{(t_f)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}}$$

Dokaz se provodi prema DIN 1052:2004-08 uvodeći u proračun geometrijske karakteristike ostatka nagorenog poprečnog presjeka te vrijednosti čvrstoća i modula u požaru.

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkáže u požaru, dokaz se provodi za konstrukciju bez pridržanja.

$$l_{ef,fi} = 12,00 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12,0 \cdot 10^3) \cdot (155,8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32,2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 1,86$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{1,86^2} = 0,29$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7,28}{0,29 \cdot 32,2} = 0,77 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkáže:

$$l_{ef,fi} = 24,00 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24,0 \cdot 10^3) \cdot (155,8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32,2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 2,64$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2,64^2} = 0,15$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7,28}{0,43 \cdot 32,2} = 1,49$$

-Sustav za stabilizaciju mora biti izveden na nosacima da izdrži požar opterećenja 30 minuta

## 6.2.KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina "+" Vjetar W1

$$M_{G,d,fi} = \gamma_{GA,j} \cdot M_{G,k} = 1,0 \cdot 270,0 = 270,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,d,fi} = \psi_{1,1} \cdot M_{Q,k} = 0,7 \cdot 397,68 = 278,38 \text{ kNm}$$

$$M_{d,fi} = M_{G,d,fi} + M_{Q,d,fi} = 270,0 - 278,38 = -8,38 \text{ kNm}$$

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA - ANALOGNO KOMBINACIJI 1

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{8,38 \cdot 10^6}{55829,37 \cdot 10^3} = 0,015 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije → ANALOGNO KOMBINACIJI 1

DOKAZ STABILNOSTI:

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t_f)}}{\pi \cdot b_{(t_f)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}}$$

Dokaz se provodi prema DIN 1052:2004-08 uvodeći u proračun geometrijske karakteristike ostatka nagorenog poprečnog presjeka te vrijednosti čvrstoća i modula u požaru.

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkáže u požaru, dokaz se provodi za konstrukciju bez pridržanja.

$$l_{ef,fi} = 12,00 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12,0 \cdot 10^3) \cdot (155,8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32,2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 1,86$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{1,86^2} = 0,29$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{0,015}{0,29 \cdot 32,2} = 0,002 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkáže:

$$l_{ef,fi} = 24,00 \text{ m}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24,0 \cdot 10^3) \cdot (155,8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13,8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32,2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 2,64$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2,64^2} = 0,15$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{0,015}{0,43 \cdot 32,2} = 0,001 < 1$$

## 7. Dokaz sendvič panela

Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinaru C24, dimenzije  $b/h = 317/3050$  mm dužine  $l = 15,0$  m.

Veličina elementa kojeg dokazujemo iznosi  $7,50 \times 3,05$  m

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti C24 :

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 14,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti OSB/3 :

$$f_{m,k} = 16,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 9,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 6,8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 4930 \text{ N/mm}^2$$

Jedinstvene vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti dobivene su kao aritmetička sredina sastava sendvič panela.

$$f_{m,k} = \frac{24,0 + 16,4}{2} = 20,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = \frac{14,0 + 9,4}{2} = 11,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = \frac{21,0 + 15,4}{2} = 18,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = \frac{2,5 + 6,8}{2} = 9,3 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje  $k_{mod} = 0,90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za  $k_{mod}$ , u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1,30$  – parcijalni koeficijent za LLD prema DIN 1052: 2004 – 08

DIN 1052: 2004 – 08 :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{20,2 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 13,98 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{9,4 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 6,51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{18,2 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 12,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{6,8 \text{ N/mm}^2}{1,30} = 4,71 \text{ N/mm}^2$$



Kombinacija za koju se provodi proračun je *Kombinacija 1* → *Vlastita težina* + *Snijeg*.

Promatra se dvoosno savijanje u kombinaciji sa mjerodavnom uzdužnom silom koja je jednaka uzdužnoj sili koja djeluje u podrožnicama.

$$\gamma_{G,j} = 1,35$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50$$

$$q_{G,d} = \gamma_G \cdot q_{G,k} = 1,35 \cdot 3,75 = 5,06 \text{ kN/m'}$$

$$q_{Q,d} = \gamma_Q \cdot q_{Q,k} = 1,50 \cdot 2,70 = 4,05 \text{ kN/m'}$$

$$q_d = q_{G,d} + q_{Q,d} = 5,06 + 4,05 = 9,11 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = q_d \cdot \sin 10^\circ = 9,11 \cdot \sin 3^\circ = 0,48 \text{ kN/m'}$$

$$q_{z,d} = q_d \cdot \cos 10^\circ = 9,11 \cdot \cos 3^\circ = 9,10 \text{ kN/m'}$$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 9,10 \cdot \frac{7,5^2}{8} = 63,98 \text{ kNm}$$

$$V_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l}{2} = 9,10 \cdot \frac{7,5}{2} = 34,13 \text{ kN}$$

$$M_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 0,48 \cdot \frac{3,0^2}{8} = 0,54 \text{ kNm}$$

$$V_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l}{2} = 0,48 \cdot \frac{3,0}{2} = 0,72 \text{ kN}$$

$$N = 18,0 \text{ kN (vlak)}$$

$$b_{eff} = b_w + b_{c,ef}$$

$$b_{c,ef} = 0,25 \cdot l = 0,25 \cdot 2880 = 720 \text{ mm}$$

-za I profile

$$b_{eff} = 80 + 720 = 800 \text{ mm}$$

-za C profile

$$b_{eff} = 80 + 360 = 440 \text{ mm}$$

Karakteristike poprečnog presjeka za I profil:

$$W_y = \frac{80 \cdot 2,2^2}{6} + \frac{80 \cdot 1,5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1139,87 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{2,2 \cdot 80^2}{6} + \frac{1,5 \cdot 80^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 4245,33 \text{ cm}^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka za C profil:

$$W_y = \frac{44 \cdot 2,2^2}{6} + \frac{44 \cdot 1,5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1097,33 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{2,2 \cdot 44^2}{6} + \frac{1,5 \cdot 44^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 1492,53 \text{ cm}^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka panela:

$$A = 288 \cdot (1,5 + 2,2) + 5 \cdot 8 \cdot 28 = 2185,6 \text{ cm}^2$$

$$W_{y,ukp} = 3 \cdot W_{y,I} + 2 \cdot W_{y,C} = 3 \cdot 1139,87 + 2 \cdot 1097,33 = 5614,27 \text{ cm}^3$$

$$W_{z,ukp} = 3 \cdot W_{z,I} + 2 \cdot W_{z,C} = 3 \cdot 4245,33 + 2 \cdot 1492,53 = 15721,05 \text{ cm}^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18,0 \cdot 10^3}{2185,6 \cdot 10^2} = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{63,98 \cdot 10^6}{5614,27 \cdot 10^3} = 11,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,54 \cdot 10^6}{15721,05 \cdot 10^3} = 0,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,72 \cdot 10^3}{2185,6 \cdot 10^2} = 0,004 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{z,d} = 1,5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1,5 \cdot \frac{34,13 \cdot 10^3}{2185,6 \cdot 10^2} = 0,23 \text{ N/mm}^2$$

$$k_m = 1,0 \rightarrow \text{koeficijent izbočavanja}$$

$$k_{red} = 0,7 \rightarrow \text{koeficijent redukcije za pravokutne poprečne presjeke}$$

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,08}{6,51} + \frac{11,39}{1,0 \cdot 19,38} + 0,7 \cdot \frac{0,03}{19,38} = 0,601 < 1,0$$

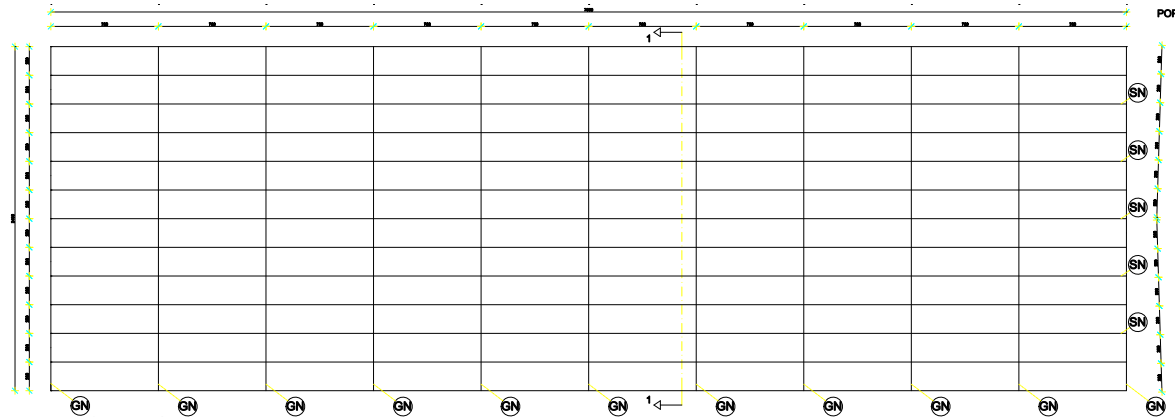
$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0,08}{6,51} + 0,7 \cdot \frac{11,39}{1,0 \cdot 19,38} + \frac{0,03}{19,38} = 0,425 < 1,0$$

$$\left( \frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 = \left( \frac{0,004}{4,71} \right)^2 + \left( \frac{0,23}{4,71} \right)^2 = 0,002 < 1,0$$

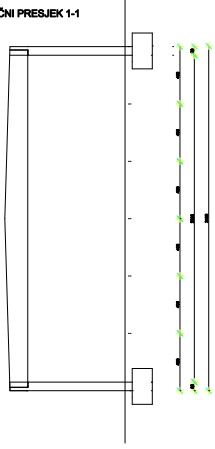
## 8. Literatura

- Predavanja iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, V. pred. Đuro Nižetić, dipl. ing. građ.
- Vježbe iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, V. pred. Đuro Nižetić, dipl. ing. građ. ; Maja Ban, znanstvena novakinja (asistentica)
- Norma DIN 1052:2004-08
- Norma nHRN EN 1995-1-1, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008)
- nHRN EN 1995-1-2, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-2: Općenito – Proračun konstrukcija na djelovanje požara (EN 1995-1-2:2004+AC:2009)

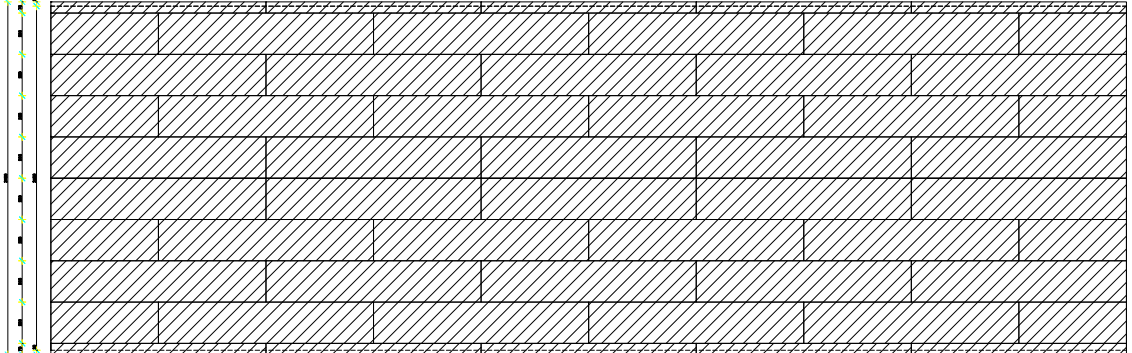
GENERALNI NACRT GLAVNOG NOSAČA MJ 1:100



POPREČNI PRESJEK 1-1

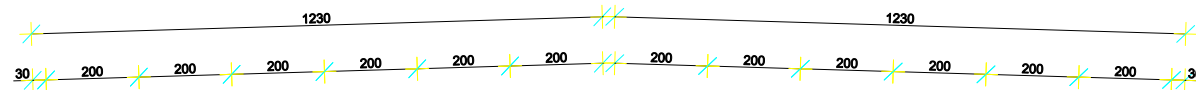


HEMA POLAGANJA PANELA



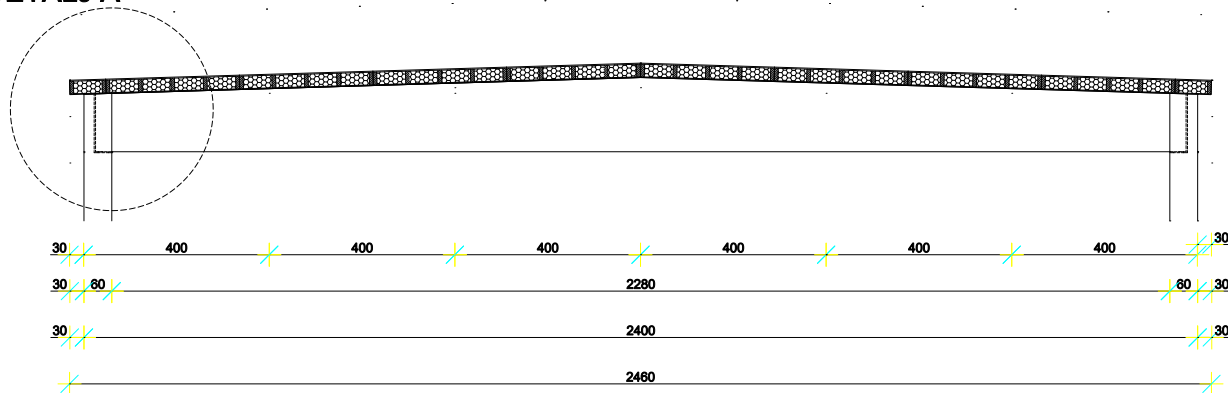
GN - Glavni nosač  
SN - Sekundarni nosač

POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI			
POSREDOVATEL	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI
POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI
POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI	POSREDOVANJE U PROMETU NEPOKRETNOSTI



RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA  
MJ 1:50

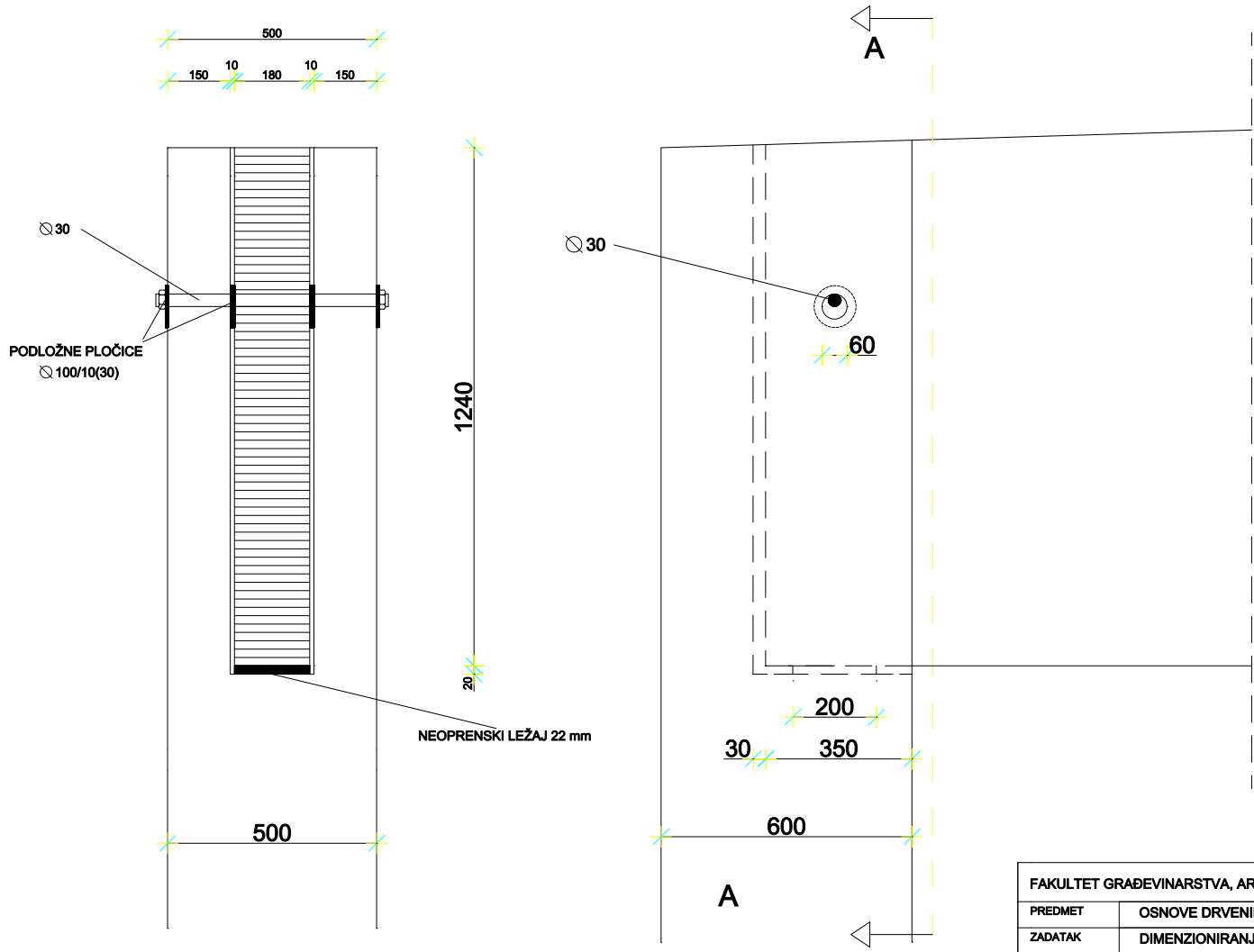
## DETALJ A



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U BEOGRADU		
PREDMET	OBNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD	DATAUM
ZADATAK	ODIMENSIONISANJE KLIZAJA	05.09.2016
BAKOVAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT	LISTA
STUDENT	ANTUN STUPIC	150

DETALJ A M1:10

PRESJEK A-A



ING NOSAČA

SPLITU	10	DATUM	05.09.2018
10		NAPOLO	1.09

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU	
PREDMET	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA
SADRŽAJ LISTA	DETALJ A
STUDENTI	ANTUN STEPIĆ